



## 第五章 电源及用电安全

# 内容

# 要求

- 电能与电力系统
- 配电系统
- 单相交流电
- 三相交流电
- 线性直流稳压电源
- 用电安全

- 识记一次能源、二次能源形式
- 理解产生电能两种方式
- 识记并理解电力系统的构成与电力传输
- 掌握单相交流电的相关概念与简单计算
- 掌握三相交流电相关概念与接线
- 理解线性直流稳压电源的工作原理，并能制作
- 掌握用电安全知识

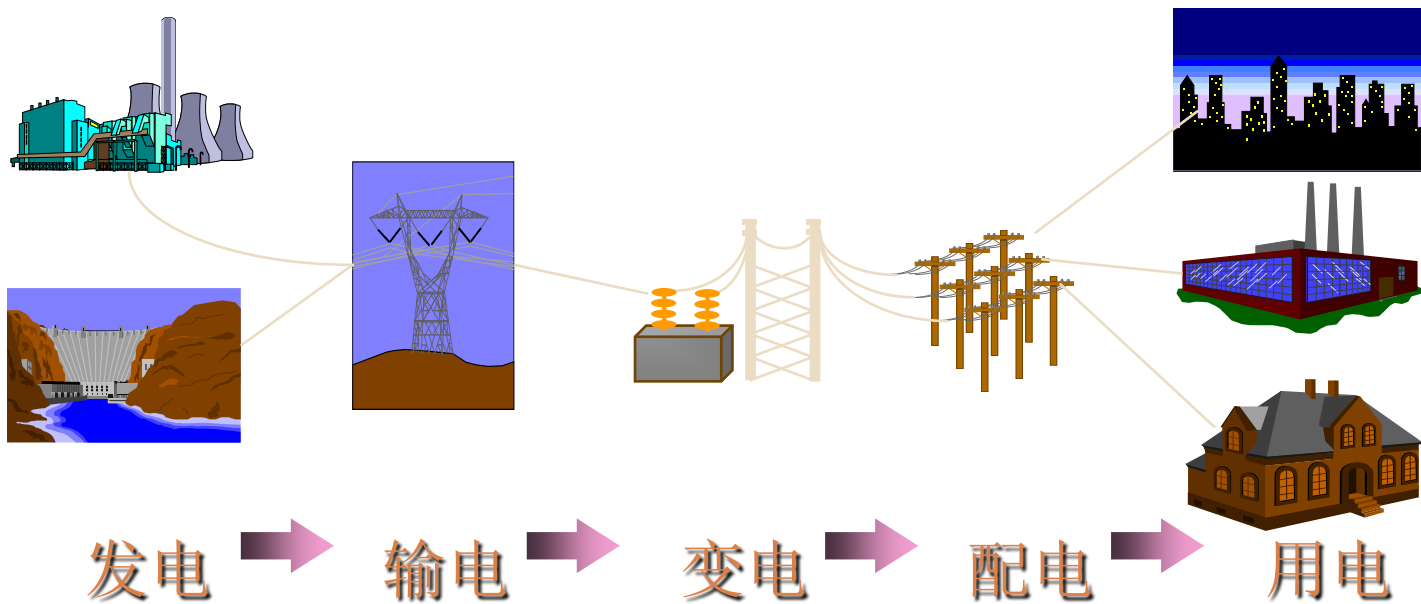
# 能源与电能

- 一次能源：在自然界现成存在的能源
  - ▣ 非可再生能源：煤炭、石油、天然气
  - ▣ 可再生能源：水能、风能、太阳能、位能、地热能、核能、海洋能
- 二次能源：由一次能源加工转换而成的能源产品，如电力、煤气、汽油、柴油、焦炭、洁净煤、激光和沼气等。
- 目前产生电能的方式有
  - ▣ 旋转机组发电---发电机普遍使用，电力的主要来源
  - ▣ 静止机组发电---太阳能

# 电力系统

电力系统：由发电机、升降压变压器、各种电压等级的输电线路和广大用户的用电设备组成的统一整体。可以描述为：

**电力系统=发电机+电力网+用电设备**



电力系统示意图

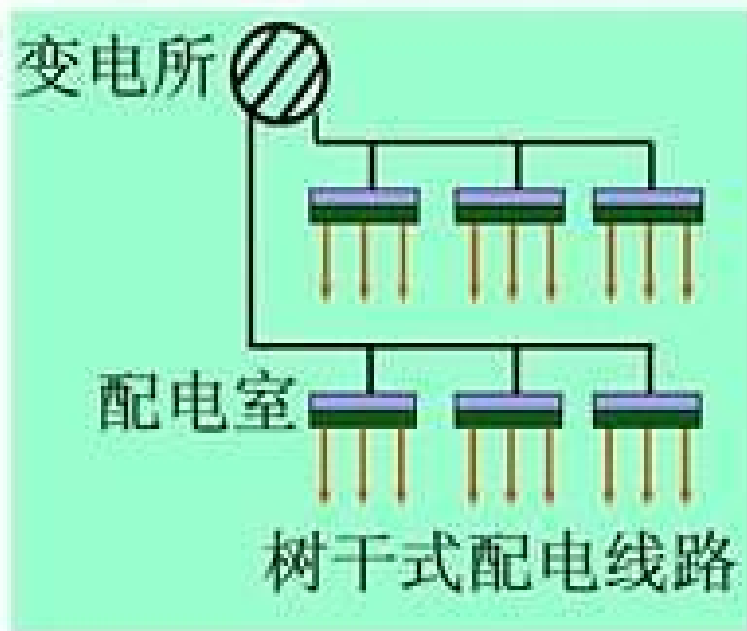
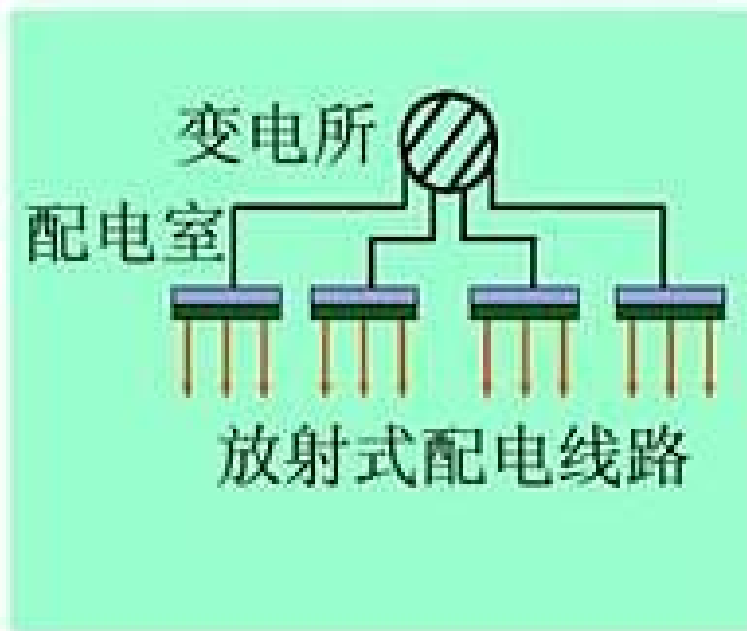
# 电力输送的方式

- 高压输电，降压分配
  - ▣ 问题：为何要采用高压输电？
- 高压输电的方式
  - ▣ 高压直流：800kV
  - ▣ 高压交流：1kV~1000kV
- 交流电网的额定电压等级
  - ▣ 低压：220、380、600
  - ▣ 高压：3k、6k、10k、35k、63k、110k、220k
  - ▣ 超高压：330k、500k、750k
  - ▣ 特高压：大于1000k

# 配电系统

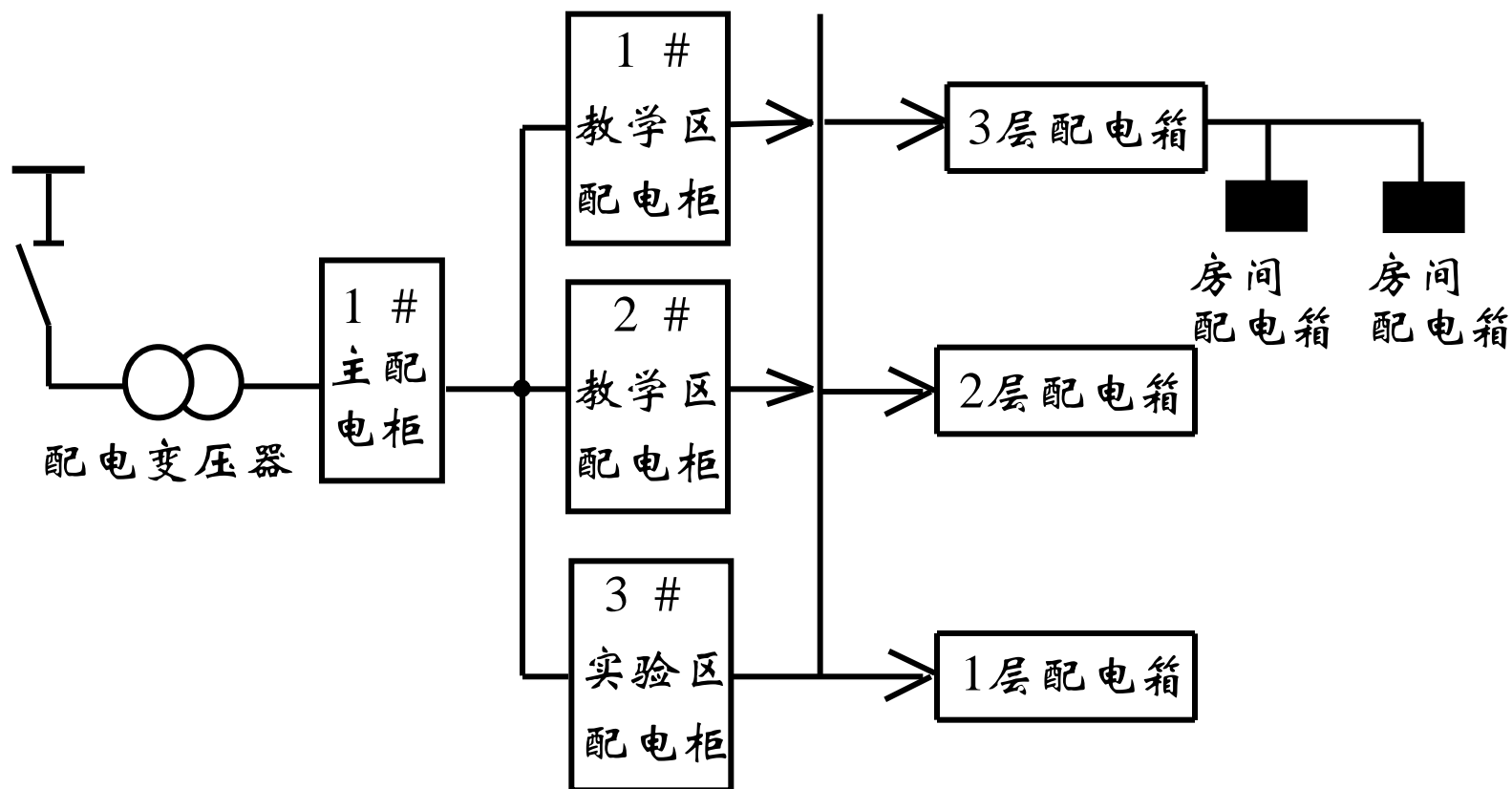
## 低压配电线路：

- 放射式：用于负载点比较分散又具有相当大的集中负载场合，如下左图所示。
- 树干式：用于负载集中，各负载位于配电箱同一侧，间距短或者负载均匀地分布在同一条线上，如下右图所示。



# 配电系统

配电线路示意图：



# 单相交流电

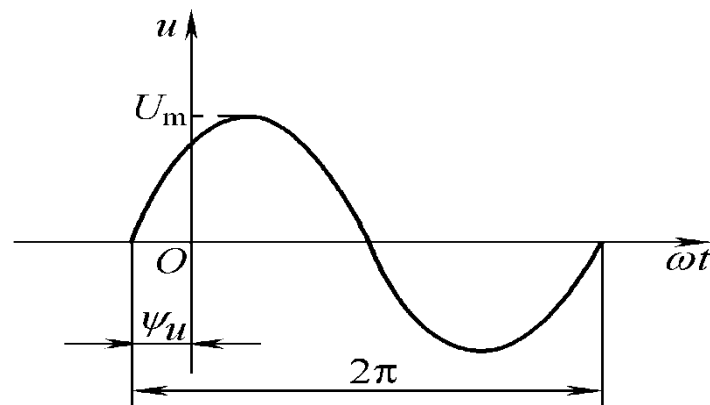
交流电是随时间按正弦规律变动的物理量可以表示为：

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

其中  $U_m$  电压幅值,  $\varphi$  为初相位,  $\omega$  为角频率。

正弦量的三要素：

- 幅值：瞬时值中的最大值。
- 频率：每秒内变化的次数。
- 初相位： $t=0$ 时候的相位。



单相正弦电压

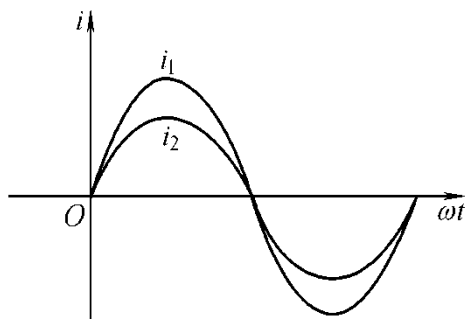


# 单相交流电

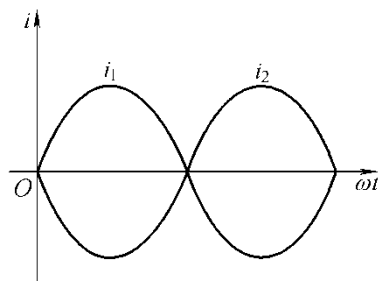
正弦量的相位差：两个相同频率的正弦量之间的相位之差，即

$$(\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2$$

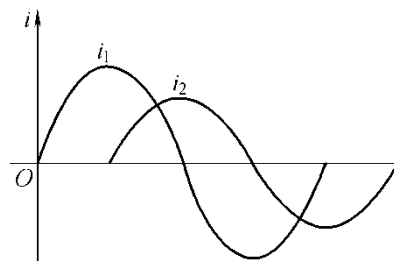
相位关系：同相、反相、超前、滞后



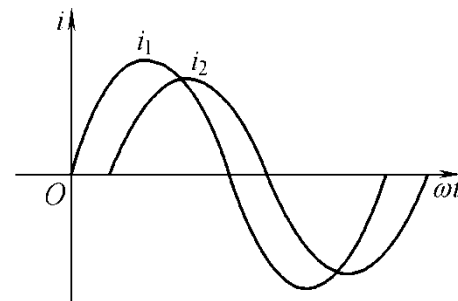
$i_1$  与  $i_2$  同相



$i_1$  与  $i_2$  反相



$i_1$  超前  $i_2$



$i_2$  滞后  $i_1$

$i_2$

# 单相交流电

有效值：利用电流的热效应等效求得，也就是说，某一周期电流  $i$  通过电阻  $R$  在一个周期内产生的热量和另一个直流电流  $I$  通过同一个电阻  $R$  在相同时间内产生的热量相等，即：

$$\int_0^T Ri^2 dt = RI^2T$$

从而可以导出：

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad \leftarrow i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m$$

通常标识或表测量显示的均是有效值，如AC380/AC220。

# 单相交流电

瞬时功率：交流电路中任何一瞬间的功率。

$$p = ui = U_m I_m \sin(\omega t) \sin(\omega t - \varphi)$$

$$= UI \cos \varphi (1 - \cos 2\omega t) - UI \sin \varphi \sin 2\omega t = p_{\text{active}} + q_{\text{reactive}} (*)$$

$$= UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t - \varphi) (**)$$

(\*)式的第**一**项为电源发出或负载吸收的**瞬时有功功率**， $\geq 0$

(\*)式的第**二**项为电源与负载交换的**瞬时无功功率**，2倍频一个半周期内 $\geq 0$ ，一个半周期内 $\leq 0$

有功  
电流

$$i = I_m \sin(\omega t - \varphi) = \sqrt{2}I \cos \varphi \sin \omega t - \sqrt{2}I \sin \varphi \cos \omega t (***)$$

$$= \sqrt{2}I \cos \varphi \sin \omega t + \sqrt{2}I \sin \varphi \sin(\omega t - 90^\circ)$$

无功  
电流

有(无)功率瞬时值等于有(无)功电流瞬时值与电压瞬时值的乘积

(\*\*)式的第**一**项是与时间无关的**常数项**

(\*\*)式的第**二**项为2倍频脉动信号，说明瞬时功率是波动的，存在无功交换

# 单相交流电

**有功功率**：又称为平均功率，为功率（或瞬时有功功率）在一个周期内的平均值。

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T p_{\text{active}}(t) dt = UI \cos \varphi$$

**无功功率**：衡量储能元件(电感、电容)与外部电路交换的功率。将瞬时无功功率的幅值定义为无功功率，即  $Q = UI \sin \varphi$

**视在功率**：电压和电流有效值的乘积。  $S = UI$

**功率因数**：有功功率所占的“比例”定义为功率因数。  $\lambda = \cos \varphi$

纯电阻电路中，电源提供给电路的全是有功功率，故  $\lambda = 1$

若  $\lambda = 0$ ，表示电源向电路提供的能量与电路向电源提供的能量相等，即无有功消耗。

# 单相交流电

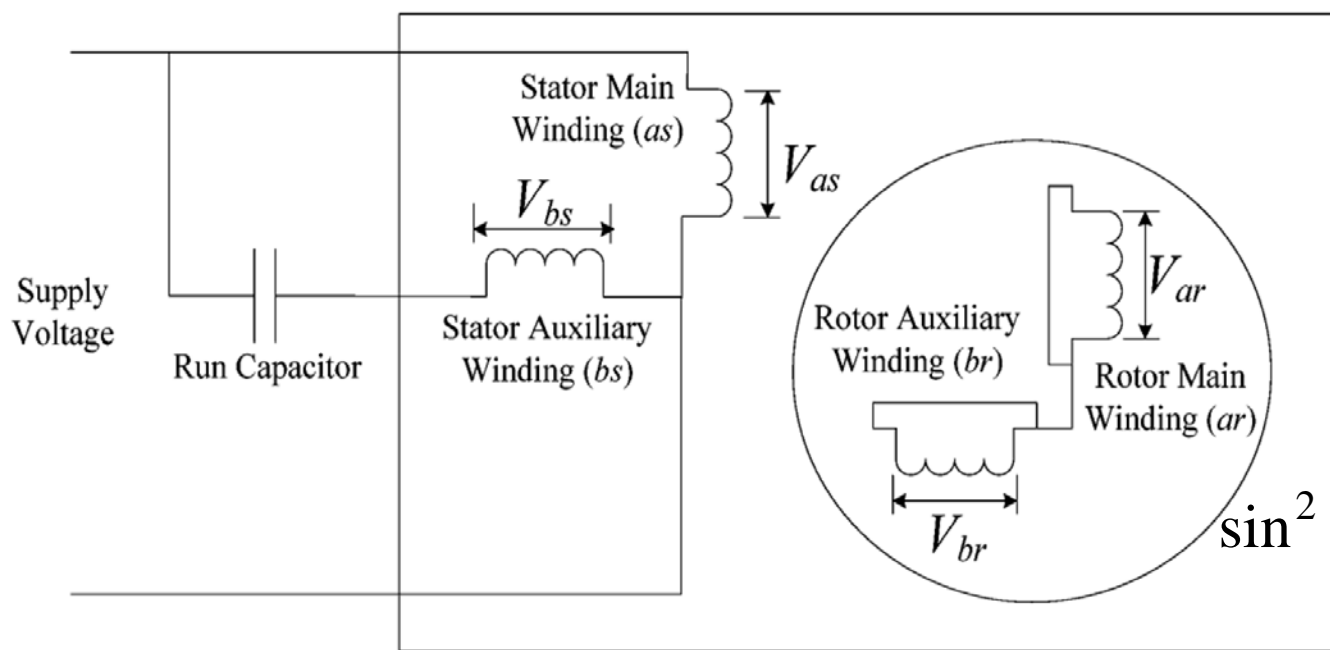
- 例1：已知 $U=100V$ ,  $I=0.6A$ , 电压与电流的相位差为 $-53^\circ$ , 求电源发出的有功功率、无功功率、视在功率和电路的功率因数。
- 拿出笔与纸合计合计
- 例2：电阻元件 $R$ 的交流电路中电压与电流无相位差，即功率因数为1，电源不会发出有无功率，此时的瞬时功率和有功功率分别为

$$p = ui = UI - UI \cos(2\omega t)$$

$$P = UI = U^2/R = I^2 R$$

# 单相异步电动机运行

## □ 单相异步电动机绕组电路结构与瞬时功率



$$\sin^2 \omega t + \sin^2 (\omega t - 90^\circ) = 1$$

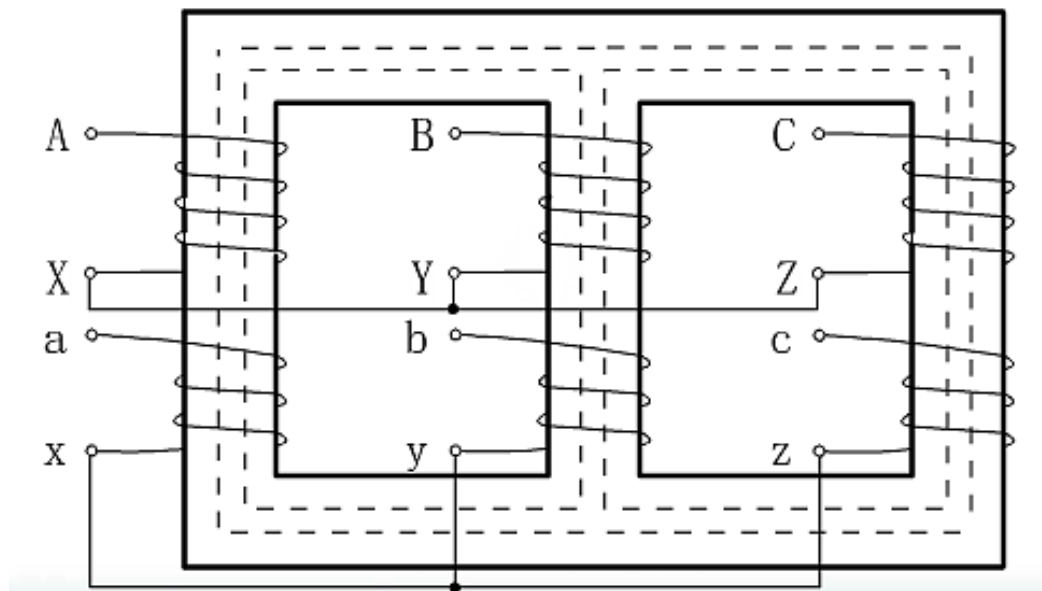
$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$$

$$U_m I_m \sin \omega t \sin(\omega t - \phi) + U_m I_m \sin(\omega t - 90^\circ) \sin(\omega t - \phi - 90^\circ) = U_m I_m \cos \phi$$

说明单相异步电机的功率是一个常量

# 三相交流电

配电变压器一般是三相电力变压器(降压)，其原理如下图所示：



二次绕组从始端引出的 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 三根导线称为相线，俗称火线，从三个末端连在一起的连接点称为中性点，或者零点，用N表示。

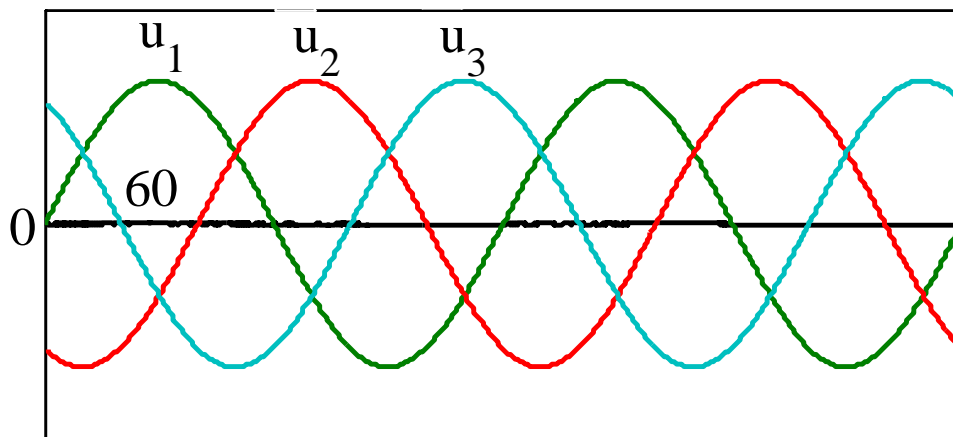
# 三相交流电

设 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 和N之间的瞬时电压用 $u_1$ 、 $u_2$ 和 $u_3$ 表示，变压器从电网得到**同频同幅**相位互差 $120^\circ$ 的三相交流

$$\begin{cases} u_1 = U_m \sin(\omega t) \\ u_2 = U_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ u_3 = U_m \sin(\omega t - 240^\circ) = U_m \sin(\omega t + 120^\circ) \end{cases}$$

三相交流电特点：

- 幅值相等
- 频率相等
- 互差 $120^\circ$ 度
- $u_1 + u_2 + u_3 = 0$





# 三相交流电

三相交流电压出现正幅值的顺序称为相序。相线与中性线之间的电压称为相电压，相线与相线之间的电压称为线电压，有

$$\begin{cases} u_{12} = u_1 - u_2 = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t + 30^\circ) \\ u_{23} = u_2 - u_3 = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t + 30^\circ - 120^\circ) \\ u_{31} = u_3 - u_1 = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t + 30^\circ + 120^\circ) \end{cases}$$

可见，线电压与相电压同频，且超前相电压 $30^\circ$ ，线电压幅值为相电压幅值的 $\sqrt{3}$ 倍。

# 三相交流电——三相对称电路

□ 三相对称电路，即电源对称、负载对称，此时

$$\begin{array}{l} \text{三相} \\ \text{电源} \\ \text{电压} \end{array} \quad \begin{cases} u_1 = U_m \sin(\omega t) \\ u_2 = U_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ u_3 = U_m \sin(\omega t - 240^\circ) = U_m \sin(\omega t + 120^\circ) \end{cases}$$

$$\begin{array}{l} \text{三相} \\ \text{负载} \\ \text{电流} \end{array} \quad \begin{cases} i_1 = I_m \sin(\omega t - \varphi) \\ i_2 = I_m \sin(\omega t - 120^\circ - \varphi) \\ i_3 = I_m \sin(\omega t + 120^\circ - \varphi) \end{cases}$$

# 三相交流电----三相对称电路

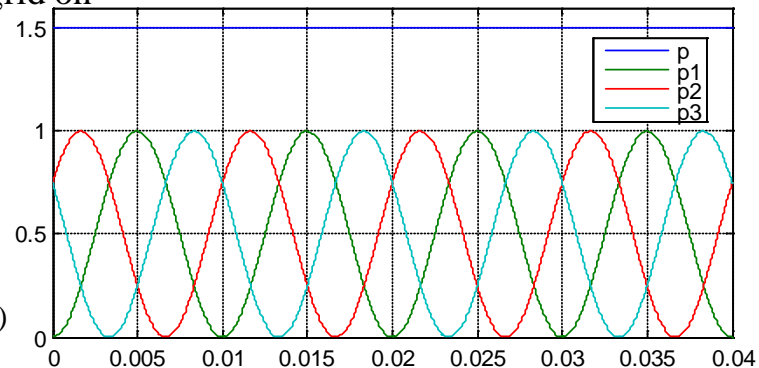
三相对称正弦供电系统瞬时有功为与频率及时间无关的恒定值 (直流量)

证明:

$$\begin{aligned}
 & \sqrt{2}U \times \sqrt{2}I \sin \omega t \sin(\omega t - \varphi) + \sqrt{2}U \times \sqrt{2}I \sin(\omega t - 120^\circ) \sin(\omega t - 120^\circ - \varphi) + \\
 & \sqrt{2}U \times \sqrt{2}I \sin(\omega t + 120^\circ) \sin(\omega t + 120^\circ - \varphi) \\
 &= 2UI \left( \frac{e^{i\omega t} - e^{-i\omega t}}{2i} \right) \left( \frac{e^{i\omega t} e^{-i\varphi} - e^{-i\omega t} e^{i\varphi}}{2i} \right) + \\
 & 2UI \left\{ \frac{e^{i\omega t} e^{-i120^\circ} - e^{-i\omega t} e^{i120^\circ}}{2i} \right\} \left\{ \frac{e^{i\omega t} e^{-i120^\circ} e^{-i\varphi} - e^{-i\omega t} e^{i120^\circ} e^{i\varphi}}{2i} \right\} + \\
 & 2UI \left\{ \frac{e^{i\omega t} e^{i120^\circ} - e^{-i\omega t} e^{-i120^\circ}}{2i} \right\} \left\{ \frac{e^{i\omega t} e^{i120^\circ} e^{-i\varphi} - e^{-i\omega t} e^{-i120^\circ} e^{i\varphi}}{2i} \right\} \\
 &= -\frac{UI}{2} (e^{i2\omega t} e^{-i\varphi} - e^{i\varphi} - e^{-i\varphi} + e^{-i2\omega t} e^{i\varphi}) \\
 & -\frac{UI}{2} (e^{i2\omega t} e^{-i240^\circ} e^{-i\varphi} - e^{i\varphi} - e^{-i\varphi} + e^{-i2\omega t} e^{i240^\circ} e^{i\varphi}) \\
 & -\frac{UI}{2} (e^{i2\omega t} e^{i240^\circ} e^{-i\varphi} - e^{i\varphi} - e^{-i\varphi} + e^{-i2\omega t} e^{-i240^\circ} e^{i\varphi}) \\
 &= \frac{3UI}{2} (e^{i\varphi} + e^{-i\varphi}) - \frac{UI}{2} e^{i2\omega t} e^{-i\varphi} (1 + e^{-i240^\circ} + e^{i240^\circ}) - \frac{UI}{2} e^{-i2\omega t} e^{i\varphi} (1 + e^{i240^\circ} + e^{-i240^\circ}) \\
 &= 3UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t - \varphi) (1 + e^{-i240^\circ} + e^{i240^\circ}) \\
 &= 3UI \cos \varphi
 \end{aligned}$$

```

t = 0:0.00001:0.04;
p1 = sin(100*pi*t).*sin(100*pi*t);
p2 = sin(100*pi*t-2*pi/3).*sin(100*pi*t-2*pi/3);
p3 = sin(100*pi*t+2*pi/3).*sin(100*pi*t+2*pi/3);
p = p1 + p2 + p3;
plot(t,p,t,p1,t,p2,t,p3)
legend('p','p1','p2','p3')
axis([0 0.04 0 1.6]);
text(0.042,0, 't (s)')
grid on
    
```



$$\sin^2 \omega t + \sin^2(\omega t - 120^\circ) + \sin^2(\omega t + 120^\circ) = 3/2$$

三相对称情况下, 有功功率可以对功率的瞬时值检测来实现, 不需要计算平均功率

另外, 通过测量三相电压、电流的瞬时值就可以确定电压、电流的峰值和相位角, 电压与电流有相位差自然可以获得。

# 三相交流电 ---- 三相对称电路

三相对称正弦供电系统瞬时无功为与频率及时间无关的恒定值

证：

$$\begin{aligned} & \sqrt{2}U \times \sqrt{2}I \cos \omega t \sin(\omega t - \varphi) + \sqrt{2}U \times \sqrt{2}I \cos(\omega t - 120^\circ) \sin(\omega t - 120^\circ - \varphi) + \\ & \sqrt{2}U \times \sqrt{2}I \cos(\omega t + 120^\circ) \sin(\omega t + 120^\circ - \varphi) \\ &= 2UI \left( \frac{e^{i\omega t} + e^{-i\omega t}}{2} \right) \left( \frac{e^{i\omega t} e^{-i\varphi} - e^{-i\omega t} e^{i\varphi}}{2i} \right) + \\ & 2UI \left( \frac{e^{i\omega t} e^{-i120^\circ} + e^{-i\omega t} e^{i120^\circ}}{2} \right) \left( \frac{e^{i\omega t} e^{-i120^\circ} e^{-i\varphi} - e^{-i\omega t} e^{i120^\circ} e^{i\varphi}}{2i} \right) + \\ & 2UI \left( \frac{e^{i\omega t} e^{i120^\circ} + e^{-i\omega t} e^{-i120^\circ}}{2} \right) \left( \frac{e^{i\omega t} e^{i120^\circ} e^{-i\varphi} - e^{-i\omega t} e^{-i120^\circ} e^{i\varphi}}{2i} \right) \\ &= \frac{3UI}{2i} (e^{i2\omega t} e^{-i\varphi} - e^{i\varphi} + e^{-i\varphi} - e^{-i2\omega t} e^{i\varphi}) + \\ & \frac{3UI}{2i} (e^{i2\omega t} e^{-i240^\circ} e^{-i\varphi} - e^{i\varphi} + e^{-i\varphi} - e^{-i2\omega t} e^{i240^\circ} e^{i\varphi}) + \\ & \frac{3UI}{2i} (e^{i2\omega t} e^{i240^\circ} e^{-i\varphi} - e^{i\varphi} + e^{-i\varphi} - e^{-i2\omega t} e^{-i240^\circ} e^{i\varphi}) \\ &= \frac{3UI}{2i} (e^{-i\varphi} - e^{i\varphi}) + \frac{UI}{2i} e^{i2\omega t} e^{-i\varphi} (1 + e^{-i240^\circ} + e^{i240^\circ}) - \frac{UI}{2i} e^{-i2\omega t} e^{i\varphi} (1 + e^{i240^\circ} + e^{-i240^\circ}) \\ &= -3UI \sin \varphi + UI \sin(2\omega t - \varphi) (1 + e^{-i240^\circ} + e^{i240^\circ}) \quad \because 1 + e^{-i240^\circ} + e^{i240^\circ} = 0 \\ &= -3UI \sin \varphi \end{aligned}$$

# 三相交流电——三相不对称电路(了解)

□ 三相不对称电路，考虑电源对称、负载不对称，此时

$$\begin{array}{l} \text{三相} \\ \text{电源} \\ \text{电压} \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{l} u_1 = U_m \sin(\omega t) \\ u_2 = U_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ u_3 = U_m \sin(\omega t - 240^\circ) = U_m \sin(\omega t + 120^\circ) \end{array} \right.$$


$$\begin{array}{l} \text{三相} \\ \text{负载} \\ \text{电流} \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{l} i_1 = I_{m1} \sin(\omega t - \varphi_1) \\ i_2 = I_{m2} \sin(\omega t - 120^\circ - \varphi_2) \\ i_3 = I_{m3} \sin(\omega t + 120^\circ - \varphi_3) \end{array} \right.$$

# 三相交流电——三相不对称电路(了解)

$$\begin{cases} u_1 = U_m \sin(\omega t) \\ u_2 = U_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ u_3 = U_m \sin(\omega t + 120^\circ) \end{cases} \quad \begin{cases} i_1 = I_{m1} \sin(\omega t - \varphi_1) \\ i_2 = I_{m2} \sin(\omega t - 120^\circ - \varphi_2) \\ i_3 = I_{m3} \sin(\omega t + 120^\circ - \varphi_3) \end{cases}$$

## □ 三相电路的瞬时功率

$$\begin{cases} p_1 = \sqrt{2}U_p \sin(\omega t) \sqrt{2}I_1 \sin(\omega t - \varphi_1) \\ p_2 = \sqrt{2}U_p \sin(\omega t - 120^\circ) \sqrt{2}I_2 \sin(\omega t - 120^\circ - \varphi_2) \\ p_3 = \sqrt{2}U_p \sin(\omega t + 120^\circ) \sqrt{2}I_3 \sin(\omega t + 120^\circ - \varphi_3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} p_1 = U_p I_1 \cos \varphi_1 (1 - \cos 2\omega t) - U_p I_1 \sin \varphi_1 \sin 2\omega t \\ p_2 = U_p I_2 \cos \varphi_2 (1 - \cos(2\omega t + 120^\circ)) - U_p I_2 \sin \varphi_2 \sin(2\omega t + 120^\circ) \\ p_3 = U_p I_3 \cos \varphi_3 (1 - \cos(2\omega t - 120^\circ)) - U_p I_3 \sin \varphi_3 \sin(2\omega t - 120^\circ) \end{cases}$$


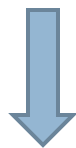
# 三相交流电——三相不对称电路(了解)

$$\begin{cases} p_1 = U_p I_1 \cos \varphi_1 (1 - \cos 2\omega t) - U_p I_1 \sin \varphi_1 \sin 2\omega t \\ p_2 = U_p I_2 \cos \varphi_2 (1 - \cos(2\omega t + 120^\circ)) - U_p I_2 \sin \varphi_2 \sin(2\omega t + 120^\circ) \\ p_3 = U_p I_3 \cos \varphi_3 (1 - \cos(2\omega t - 120^\circ)) - U_p I_3 \sin \varphi_3 \sin(2\omega t - 120^\circ) \end{cases}$$

□ 按交流电瞬时功率和无功功率的定义，有

$$\begin{aligned} p_{\text{active}} &= U_p I_1 \cos \varphi_1 (1 - \cos 2\omega t) & q_{\text{reactive}} &= -U_p I_1 \sin \varphi_1 \sin 2\omega t \\ &+ U_p I_2 \cos \varphi_2 (1 - \cos(2\omega t + 120^\circ)) & &- U_p I_2 \sin \varphi_2 \sin(2\omega t + 120^\circ) \\ &+ U_p I_3 \cos \varphi_3 (1 - \cos(2\omega t - 120^\circ)) & &- U_p I_3 \sin \varphi_3 \sin(2\omega t - 120^\circ) \end{aligned}$$

一个周期  
取平均



$$P = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} p_{\text{active}} d(\omega t) = U_p I_1 \cos \varphi_1 + U_p I_2 \cos \varphi_2 + U_p I_3 \cos \varphi_3$$

当负载对称时， $I_1 = I_2 = I_3 = I_p$ ,  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$  时， $q_{\text{reactive}} = 0$ ，说明三相电源与负载间不存在无功交换，三相负载的无功只在相间交换。

# 三相交流电——三相不对称电路(了解)

$$q_{\text{reactive}} = -U_p I_1 \sin \varphi_1 \sin 2\omega t - U_p I_2 \sin \varphi_2 \sin(2\omega t + 120^\circ) - U_p I_3 \sin \varphi_3 \sin(2\omega t - 120^\circ)$$

□ 当负载对称时,  $I_1 = I_2 = I_3 = I_p, \varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$  时,  $q_{\text{reactive}} = 0$ , 说明三相电源与负载间不存在无功交换, 三相负载的无功只在相间交换。

□ 当负载不对称时, 为了得到三相负载与三相电源间交换的无功功率  $Q$  大小, 定义复无功功率

$$\tilde{Q}_1 = U_p I_1 \sin \varphi_1 \angle 0^\circ$$

$$\tilde{Q}_2 = U_p I_2 \sin \varphi_2 \angle 120^\circ$$

$$\tilde{Q}_3 = U_p I_3 \sin \varphi_3 \angle -120^\circ$$

$$\tilde{Q} = \tilde{Q}_1 + \tilde{Q}_2 + \tilde{Q}_3 = Q \angle \varphi_q$$

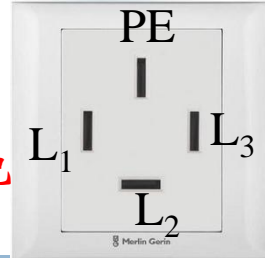
$$\begin{aligned} \Rightarrow Q^2 = & \left( U_p (I_1 \sin \varphi_1 - 0.5 I_2 \sin \varphi_2 - 0.5 I_3 \sin \varphi_3) \right)^2 \\ & + \left( (\sqrt{3}/2) U_p (I_2 \sin \varphi_2 - I_3 \sin \varphi_3) \right)^2 \end{aligned}$$



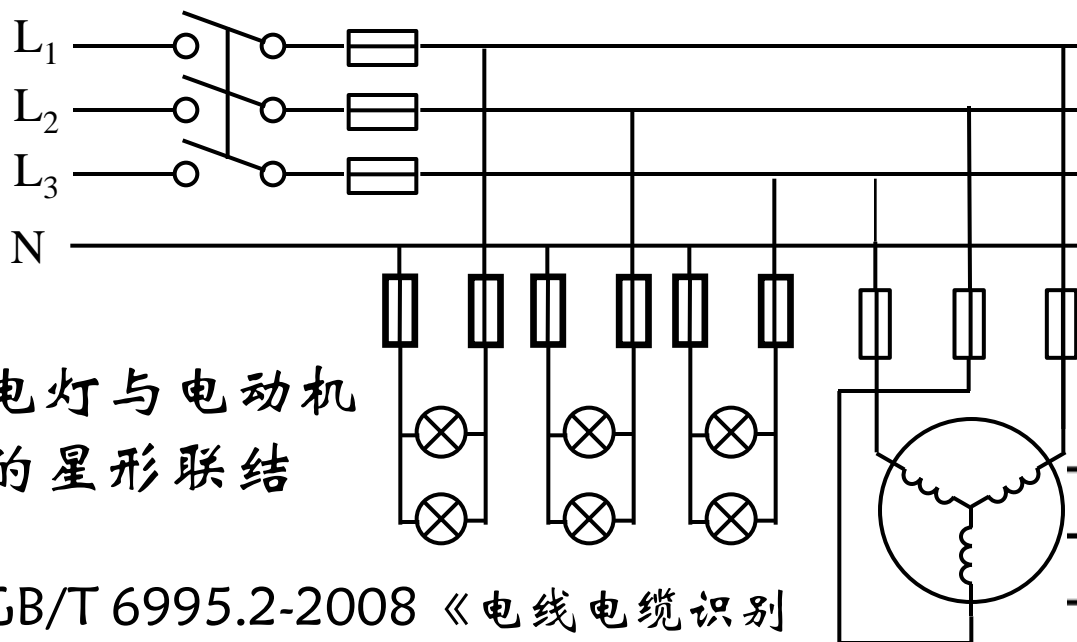
# 三相交流电

## 插座接线方法

三相插座并不等同于配  
电系统的三相四线制!



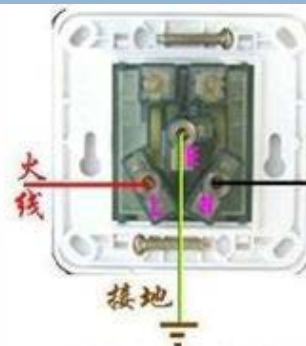
## 三相交流电路负载的接入方式



## 电灯与电动机 的星形联结

GB/T 6995.2-2008 《电线电缆识别  
标志方法 第2部分:标准颜色》规定的  
电力传输线颜色(非强制性):

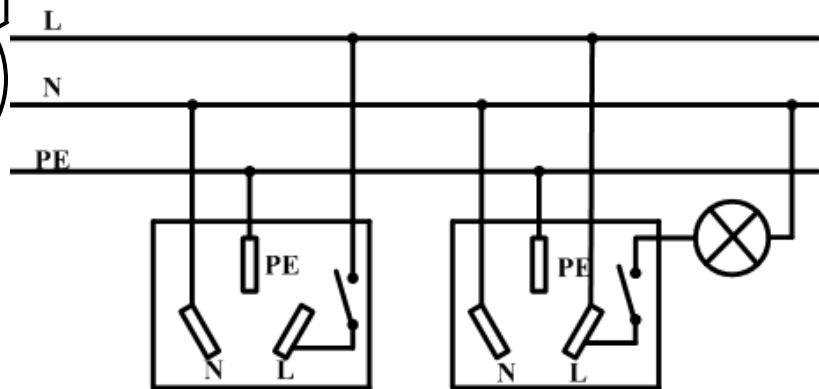
◆三相电: A相线: 黄色; B相线: 绿  
色; C相线: 红色; 零线: 蓝色; 地  
线PE: 黄绿色。



插座正面看是左零右火

## 三孔插主要插金属外壳的电器

两脚插头不用区分零火线, 电器多是绝缘外壳或较难发生漏  
电的, 接地线作为一条保护线, 可以在电器金属外壳带电时  
将绝大部分漏电电流引入大地, 人体并联分流极小。接有漏  
电保护开关的话会瞬间跳闸, 切断电源。从而保障人身安全



开关控制插座接线方式 开关独立使用时接线方式

◆单相电: 相线: 红色; 零线: 蓝色; 地  
线: 黄绿色。

# 三相交流电

## 电能质量指标

- 电网频率：我国电力系统的标称频率为50Hz，《电能质量 电力系统频率偏差》中规定：电力系统正常运行条件下频率偏差限值为 $\pm 0.2\text{Hz}$ 。
- 电压偏差：《电能质量 供电电压偏差》中规定：35KV及以上供电电压偏差不能超过标称电压的10%；20KV及以下不能超过 $\pm 7\%$ ；220V单相供电则为 $+7\% \sim -10\%$ 。
- 三相电压不平衡：《电能质量 三相电压不平衡》中规定：电网正常运行时，负序电压不平衡度不超过2%，短时不得超过4%；公共连接点负序电压不平衡度允许值为1.3%，短时不超过2.6%。

# 直流稳压电源

## 直流稳压电源分类：

- 化学电源：把化学能转化为电能，如干电池，铅酸蓄电池等。
- 线性稳压电源：调整管工作在线性状态下的直流稳压电源。
- 开关电源：利用现代电力电子技术，控制开关管开关来维持稳定的输出电压的一种电源。



干电池



铅酸蓄电池



锂电池



线性稳压电源



开关电源

线性直流电源主要技术指标：  
特性指标和质量指标

# 线性直流稳压电源

## □ 线性直流电源特性指标

- ▣ 输入电压及其变化范围

- ▣ 输出电压 $V_o$ 或调节范围 $V_{omin}-V_{omax}$

- ▣ 额定输出电流 $I_{omax}$ （指电源正常工作时的最大输出电流）以及过电流保护值。

  - 在测量 $V_o$ 的基础上，逐渐减小 $R_L$ ，直到 $V_o$ 下降5%，此时负载 $R_L$ 中的电流即为 $I_{omax}$

- ▣ 额定功率 $P_N$

## □ 线性直流电源质量指标

- ▣ 效率 
$$\eta = \frac{\text{输出电压} \times \text{输出电流}}{\text{输入电压} \times \text{输入电流}} \times 100\%$$

- ▣ 功率因数 
$$\cos \varphi = \frac{\text{输入有功功率}}{\text{视在功率}} = \frac{\text{输入有功功率}}{\text{输入电压} \times \text{输入电流}}$$

# 线性直流稳压电源

## □ 线性直流电源质量指标

- 稳压系数(源效应---电压调整率) $S_r$ : 在负载电流、环境温度不变的情况下, 输入电压 $V_i$ 变化 $\pm 10\%$ 时引起输出电压的相对变化, 即

$$S_r = \left. \frac{\Delta V_o / V_o}{\Delta V_i / V_i} \right|_{I_o = C_1, T = C_2}$$

从公式可以得到什么结论?

- 电流调整率(负载效应) $S_i$ : 当输入电压及温度不变, 输出电流 $I_o$ 从零变化到最大时, 输出电压的相对变化量称为电压调整率, 即

$$S_i = \left. \frac{\Delta V_o}{V_o} \times 100\% \right|_{\Delta I_o = I_{o\max}, \Delta T = 0}$$

从公式可以得到什么结论?

- 输出电阻 $R_o$ : 当电压和温度不变时, 因 $R_L$ 变换, 导致负载电流变化了 $\Delta I_o$ , 相应的输出电压变化了 $\Delta V_o$ , 两者比值的绝对值称为输出电阻, 即

$$R_o = \frac{\Delta V_o}{\Delta I_o}$$

从公式可以得到什么结论?

# 线性直流稳压电源

## □ 线性直流电源质量指标

- 温度系数 $S_T$ : 输入电压和负载电流不变时, 温度所引起的输出电压相对变化量与温度变化的比值

$$S_T = \frac{\Delta V_o / V_o}{\Delta T} \bigg|_{\Delta V_i=0, \Delta I_o=0}$$

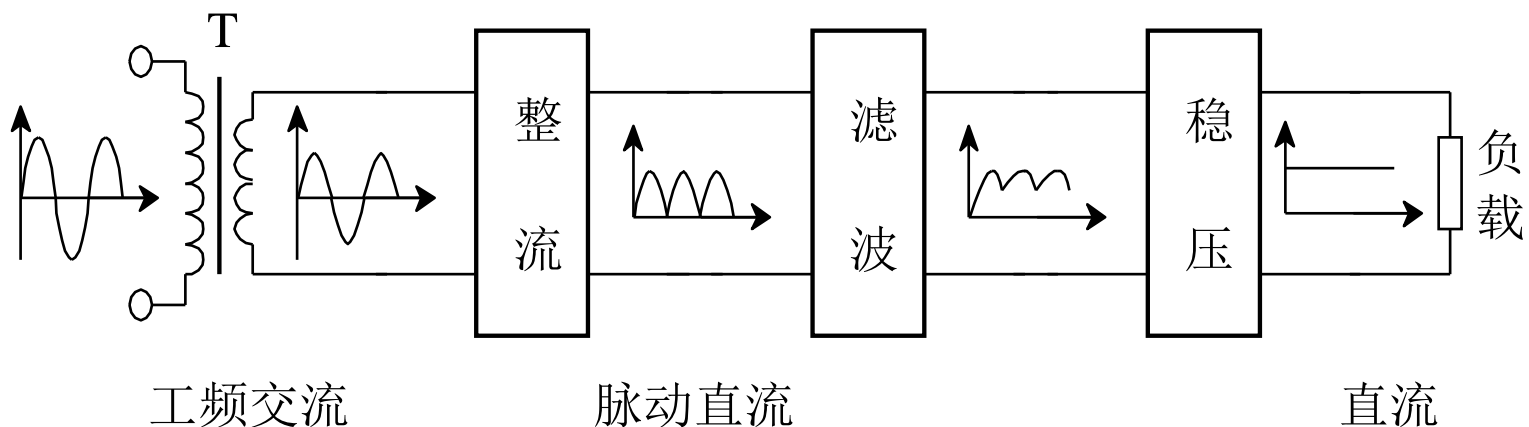
从公式可以得到什么结论?

- 纹波电压: 在额定输出电流情况下, 叠加在输出电压上的交流分, 一般mV级
- 纹波抑制比(dB): 稳压电路输入纹波电压峰值与输出纹波电压峰值之比

# 线性直流稳压电源

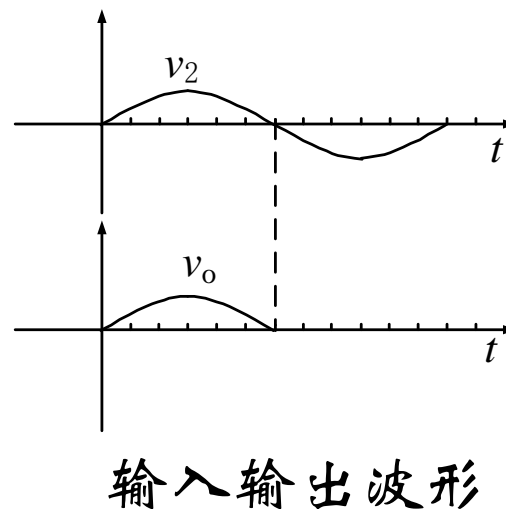
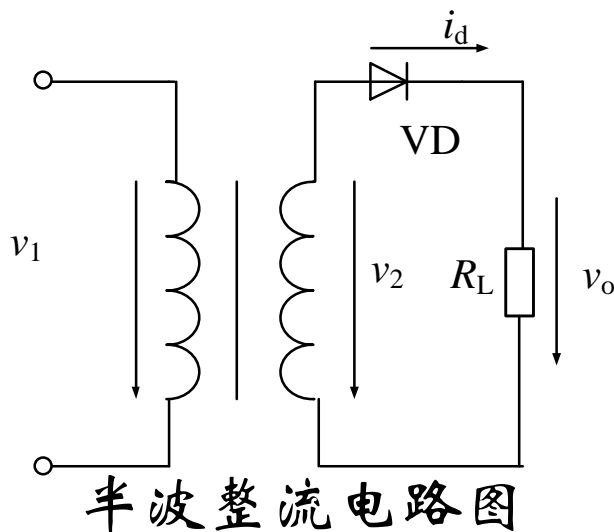
直流稳压电源由变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路组成，其原理图如下如图所示：

- 整流电路：把交流电变换成直流电。
- 滤波电路：整流输出电压脉动大，需要滤波得到平滑的直流电压。
- 稳压电路：得到稳定平直的电压。



# 线性直流稳压电源

单相半波整流电路：



设变压器输出电压 $v_2$ 为

$$v_2 = \sqrt{2}V_2 \sin(2\pi ft)$$

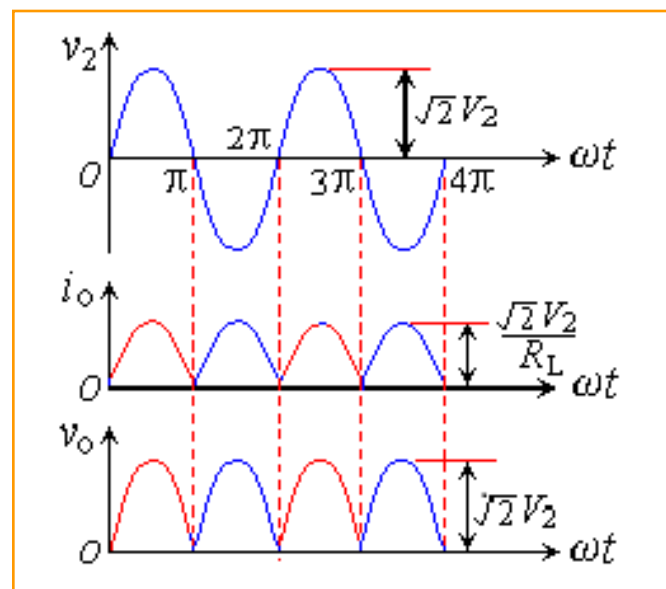
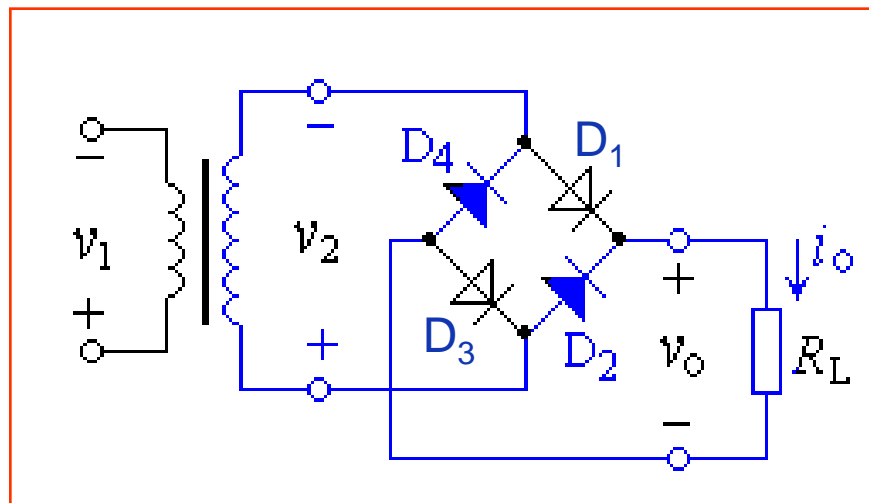
忽略二极管压降，则其输出脉动电压的平均值 $U_o$ 为

$$V_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi v_2 dt = \frac{\sqrt{2}V_2}{\pi} = 0.45V_2$$



# 线性直流稳压电源

桥式整流电路：



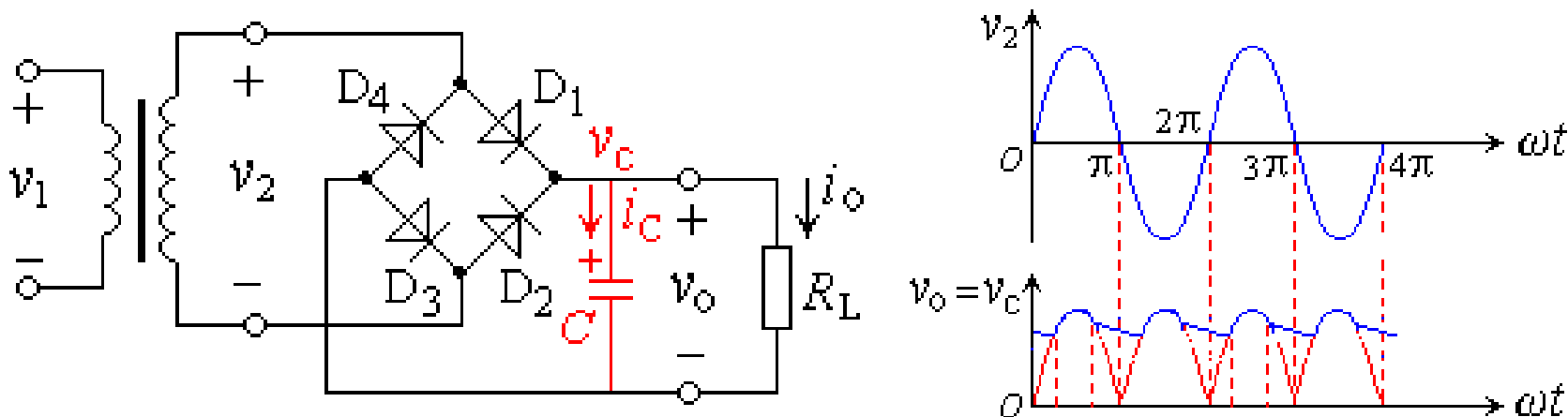
其输出直流电压为

$$V_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} v_2 dt + \frac{1}{2\pi} \int_{\pi}^{2\pi} v_2 dt = \frac{2\sqrt{2}V_2}{\pi} = 0.9V_2$$

桥式整流电路输出的直流平均电压比半波整流高一倍。

# 线性直流稳压电源

滤波电路：采用电容滤波的桥式整流电路如下图所示

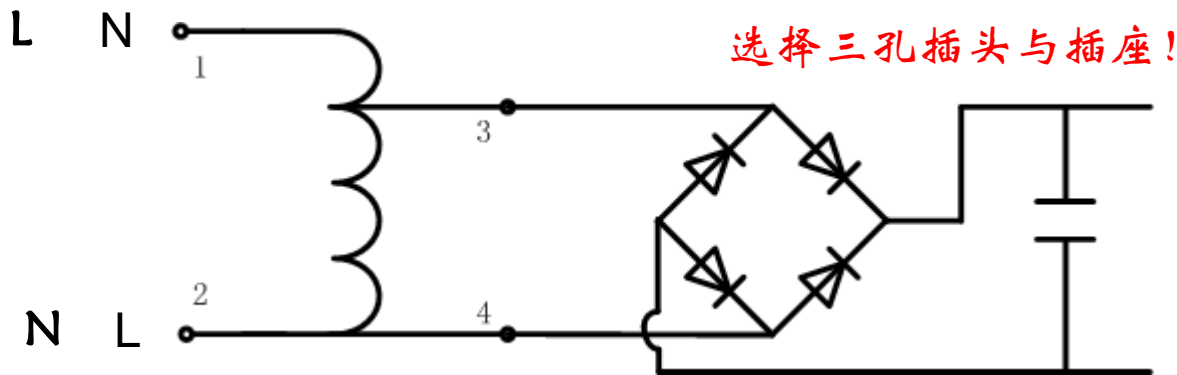


由图可知，输出 $V_o$ 已接近直流电压，实际输出电压的范围为

$$V_o = (1.1 \sim 1.4) V_2$$

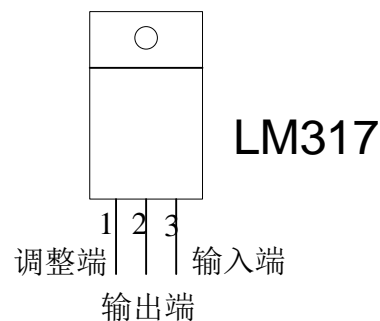
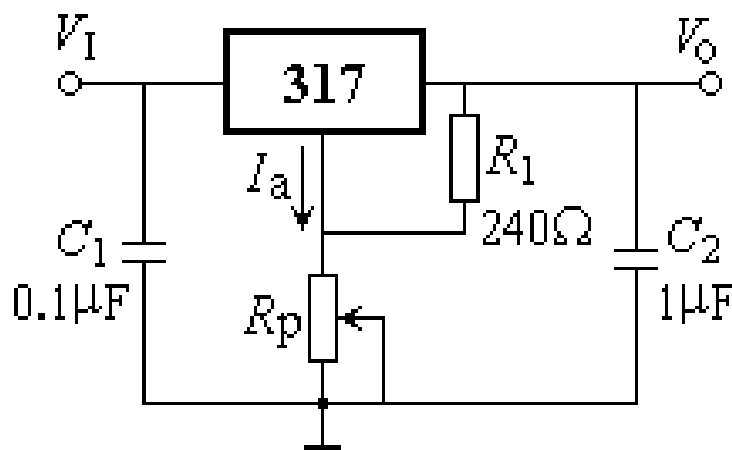
$V_2$ 是交流有效值

思考：若将隔离变压器改成自耦变压器，在通电时应注意什么？如何预防？



# 线性直流稳压电源

稳压电路：常用的可调线性直流稳压电源的典型电路如下图所示



由图可知，经稳压管LM317输出的是平整的直流电压 $V_O$ ：

$$V_o = 1.25(1 + \frac{R_p}{R_1})$$

通常改变 $R_p$ 就可以改变输出电压。

# 线性直流稳压电源

## □ 优点：

- 电源稳定度低 负载稳定度高
- 输出纹波电压较小
- 瞬态响应速度快
- 线路简单，便于理解和维修
- 无高频开关噪声
- 成本低



## □ 缺点：

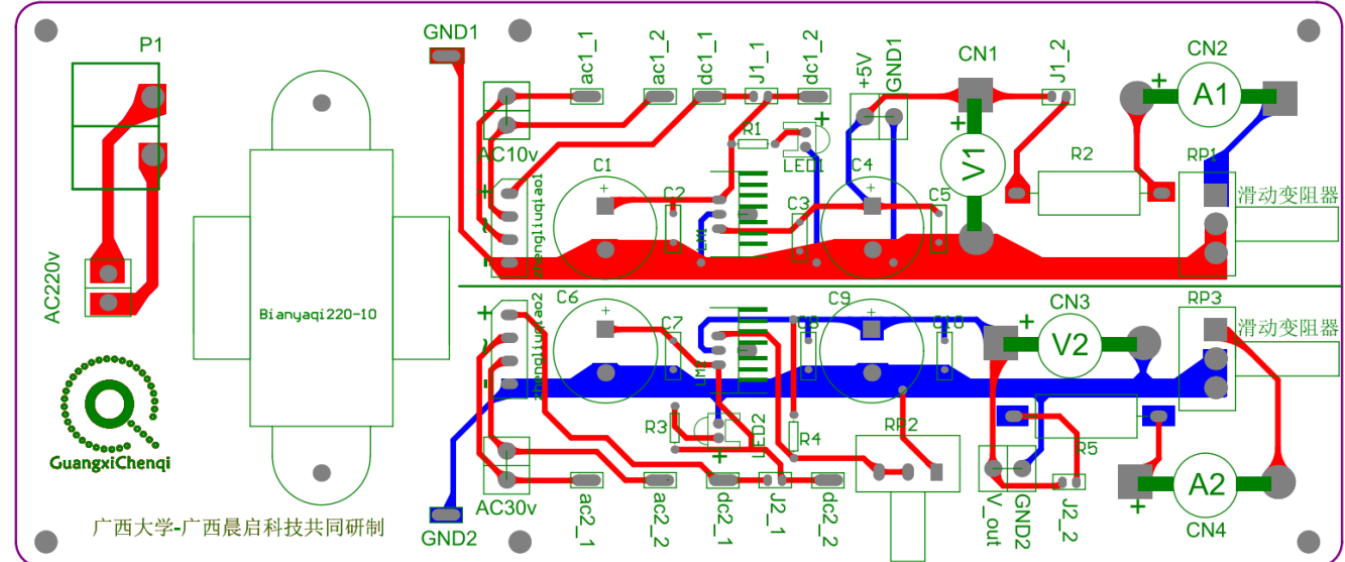
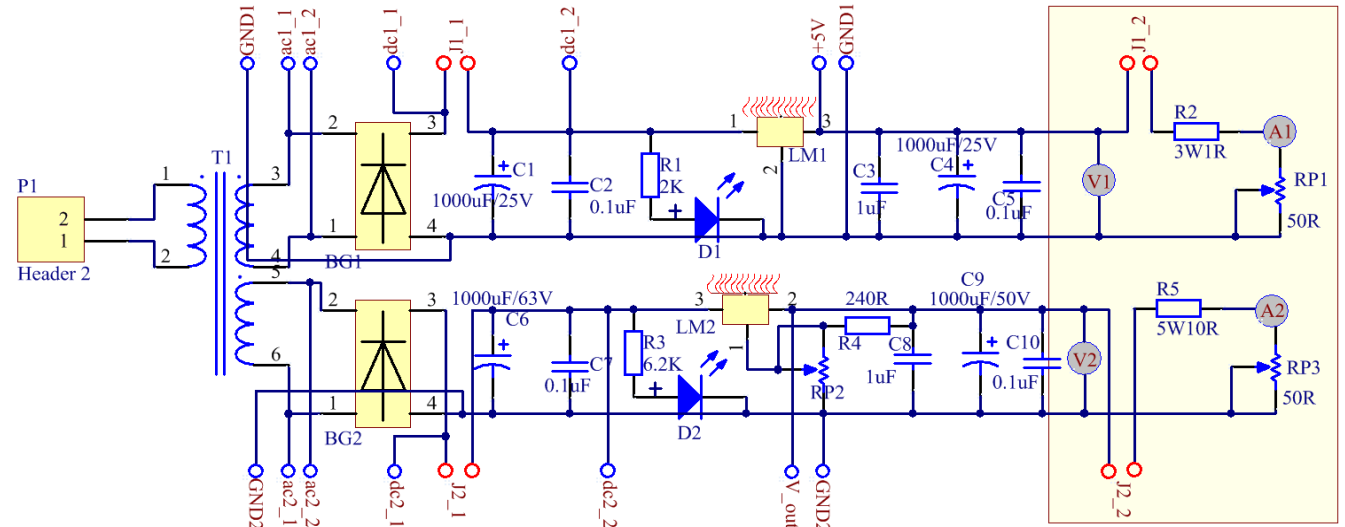
- 内部功耗大，转换效率一般只有45%
- 体积大质量重，不便小型化
- 必须具有较大的输入和输出滤波电容
- 输入电压动态范围小，线性调整率低
- 输出电压不能高于输入电压



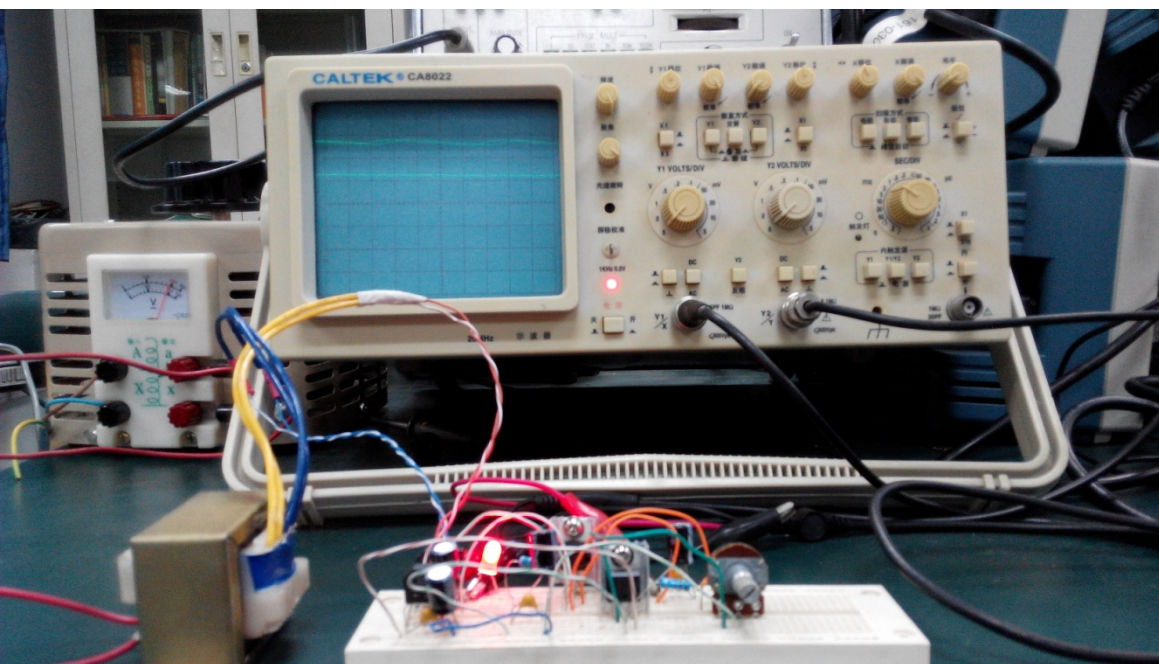
开关电源

# 直流稳压电源实训——在A.D.中画

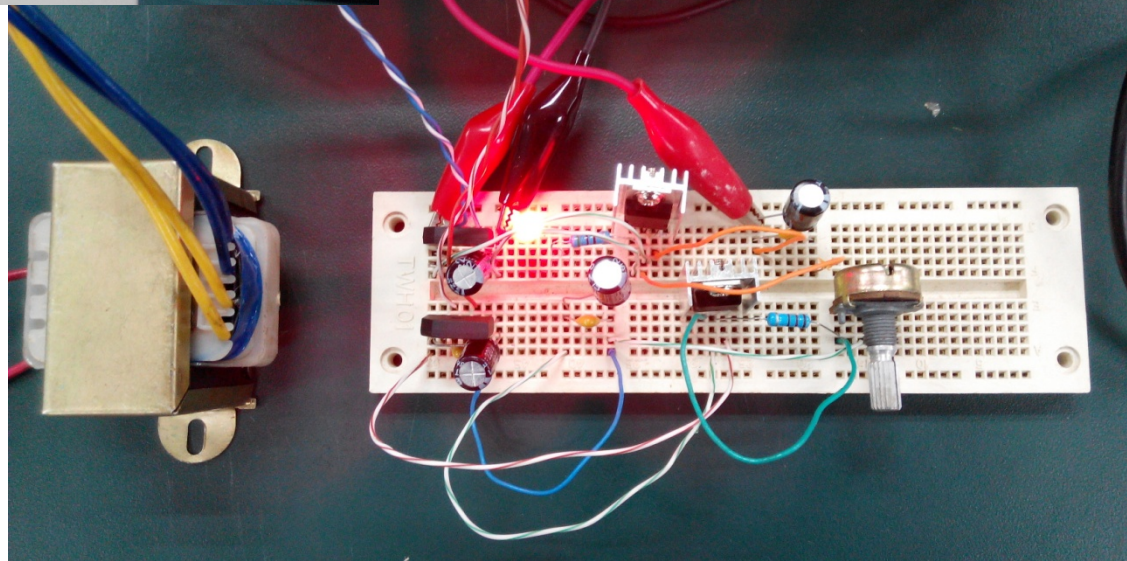
在A.D.  
中画  
原理  
图与  
印制  
板图



# 直流稳压电源实训——面包板与测试

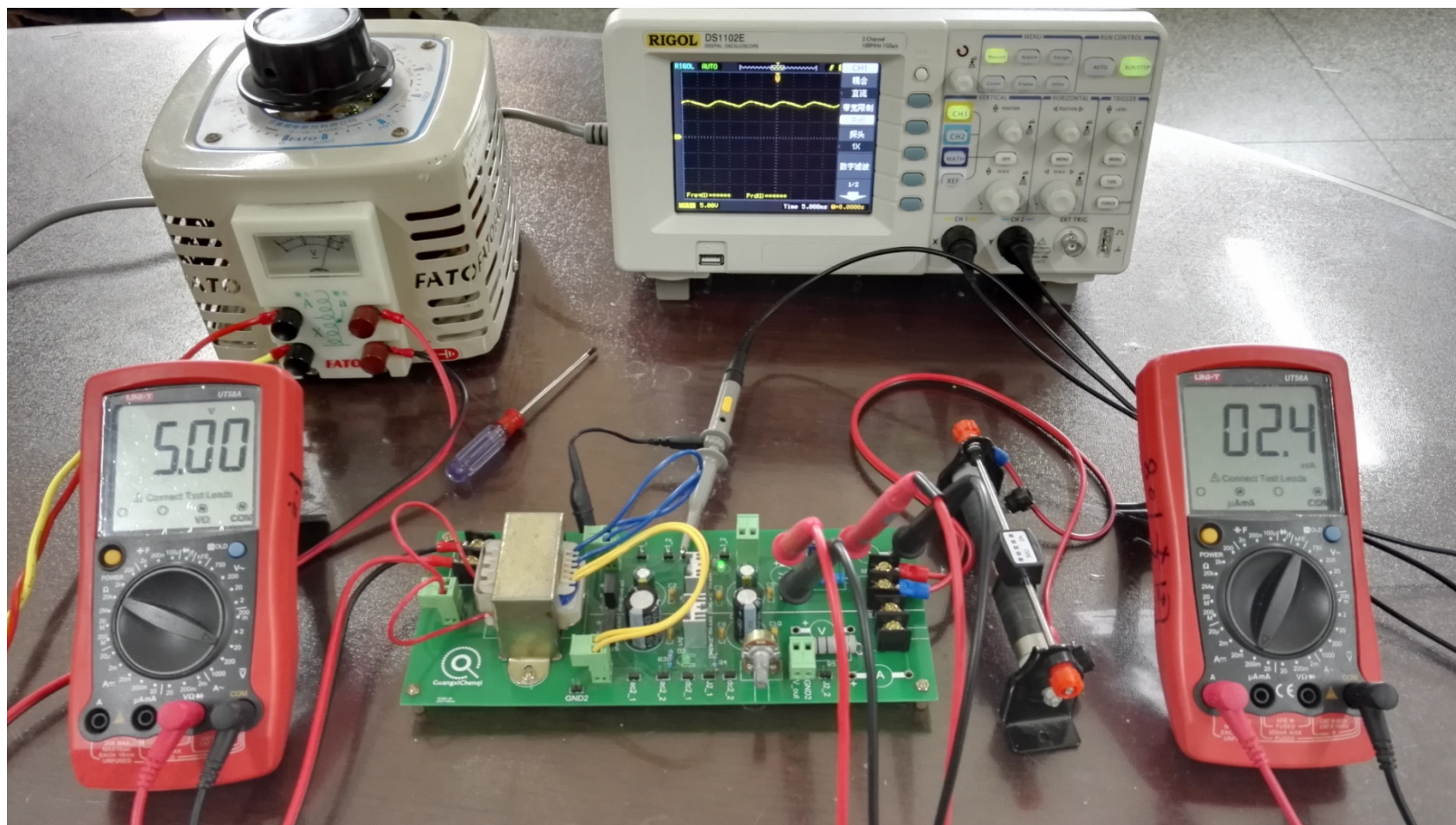


不帶載





# 直流稳压电源实训——印制板与测试



帶載

# 直流稳压电源

DF1731SB5A的特点:

- 三路输出电压，两路可调，一路固定电压输出。
- 两路可调输出，有四组液晶显示器分别显示每一路的电压值和电流值。
- 稳压与稳流状态自动切换。
- 两路输出电压可任意串联或者并联。
- 采用电流限制保护方式，限流点可任意调节。



直流稳压电源实物图



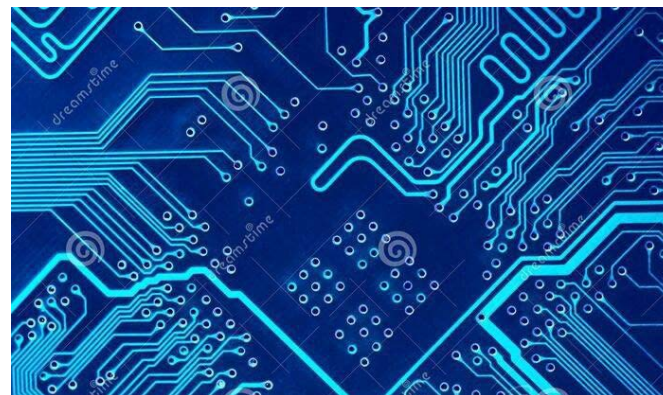
# 直流稳压电源

## DF1731SB5A的使用说明:

- 并联工作: 将电源的所有正(负)输出端连接在一起, 使得总的负载电流等于每个电源输出电流之和。
- 串联工作: 将一个电源的正输出端与另一个电源的负输出端相连, 使得总的输出电压等于每个电源的输出电压之和。
- 从动工作方式: 将多个电源互联, 仅用控制主电源的方法达到协调控制整个系统的工作方式。
- 从动并联工作: 一个主控电源与几个从动电源并联, 从动电源输出电流始终保持同主动电源输出电流成比例。
- 从动串联工作: 一个主控电源与几个从动电源并联, 从动电源输出电压始终保持同主动电源输出电压成比例。
- 从动跟随工作: 一个主控电源与几个从动电源互联, 从动电源输出始终保持同主动电源输出成比例。

# EMI-Electromagnetic Interference

- 电磁干扰是指电磁波与电子元件作用后而产生的干扰现象
- 电磁干扰的发生必须具备三个基本条件
  - ▣ 干扰源--自然干扰源与人为干扰源
  - ▣ 传播干扰能量的途径和通道-传导干扰和辐射干扰
  - ▣ 被干扰对象-敏感设备



# EMC-Electro Magnetic Compatibility

- 电磁兼容性并非电与磁的兼容，是指设备或系统在其电磁环境中符合要求运行并不对其环境中的任何设备产生无法承受的电磁干扰的能力
- EMC包括两个方面的要求：
  - ▣ 一方面是指设备在正常运行过程中对所在环境产生的电磁干扰不能超过一定的限值；
  - ▣ 另一方面是指器具对所在环境中存在的电磁干扰具有一定程度的抗扰度，即电磁敏感性。
- 电磁兼容设计：地线设计、线路板设计、滤波设计、屏蔽与搭接设计
- 电磁兼容认证

# 用电安全基本常识----安身立业的常识

- 触电的基本常识
- 触电对人体的危害
- 触电原因及防护
- 安全电压与电流行业规定
- 各种电气设备的防护等级与IP
- 用电安全技术与措施
- 静电防护
- 安全用电注意事项



**安全用电**

SAFE USING ELECTRICITY



**节约用电**

# 触电的基本常识-1

## 安全操作规程

- 什么叫触电？为什么会发生人体触电？
  - ▣ 人体接触电源(有意或无意)，由于人体是导体，会与其他导体一起形成电流通路，从而产生触电
  - ▣ 高压线(220kV、110kV、35kV、10kV等)的接地点、短路点、跨步电压形成的对人体的伤害
- 触电的实质是什么？
  - ▣ 流过人体的电流过大
- 人体触电有三种情况：
  - ▣ 单线触电
  - ▣ 两线触电
  - ▣ 跨步电压触电

**!要按操作规程办事!**



# 触电的基本常识-2

## 安全操作规程

- 人体一般可以承受的电流有多大？
  - ▣ AC20mA DC50mA
  - ▣ 长时间触电，即使8mA左右，也可致人死亡
  - ▣ 电流流过心肌时，10mA的电流也是致命的
- 人体电阻有多大？
  - ▣ 大约1k $\Omega$  皮肤干燥时在100k $\Omega$ 以上
- 电流流过人体最危险的路径是**从左手到前胸**。

**!要按操作规程办事!**



# 触电对人体的危害



## □ 电击

- 电流流过人体内部，影响呼吸、心脏和神经系统，造成人体内部组织损伤乃至死亡
- 交流电(40Hz~1000Hz)引起电击

! 20000Hz交流电可以用于理疗!

## □ 电伤

- 电流热效应、机械和化学效应造成人体触电部位的外部伤痕——电烧伤、皮肤金属化、机械损伤、电光眼
- 直流电一般引起电伤



# 触电原因及防护-1

## □ 触电原因

- 直接接触及电源----检查绝缘、设备断电检查
- 错误使用设备----如在自耦变压器中使用三孔插座，并注意L、N、E的连接
- 接线不当或工艺不良导致金属外壳带电----细查
- 电容器放电----测试前先放电





# 触电原因及防护-2

## □ 防止触电

### ▣ 四检查，再接通

- 电源线有无破损
- 插头有无外露金属或内部松动符
- 电源插头两端是否短路，与金属外壳有无通路
- 设备所需电压值是否与供电电压相

### ▣ 安全操作

- 检修电器和电路要拔下电源插头
- 不要湿手开关，插拔电源线
- 尽可能单手操作
- 不在疲劳状态电工作业
- 对电容要放电后再对电路检修



安全操作规程

# 触电原因及防护-3

## □ 触电急救

- 电击强度用电流与时间乘积表示，电流通过人体的时间越长伤害越大，一两秒的迟缓可能造成不可挽回的后果----  
保护器一个重要指标是此值小于  $30\text{mA} \cdot \text{s}$  (real  $< 3\text{mA} \cdot \text{s}$ )

- 在保护自己不受二次触电的情况下，最快速度使触电者脱离电源

- 用绝缘物体拨开电线
- 用衣物套住触电者某部位，将其拉开

- 救护措施----脊柱固定后

- 触电未失知觉者----通风暖和的地方静卧休息，观察，同时请医生或送医院
- 触电已失知觉者----解衣以利于呼吸，空气流通、保暖，同时用人工呼吸和胸外按压施急救，并请医生。



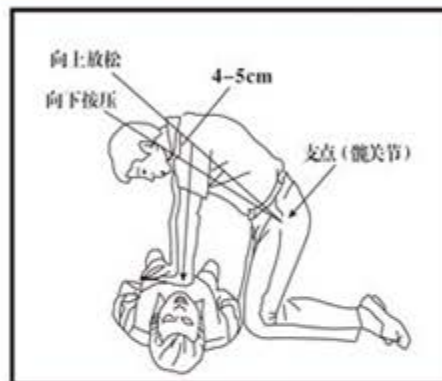
# 触电原因及防护-4

## 现场紧急救护心肺复苏术



### 口对鼻人工呼吸

- 1、开放病人气道。
- 2、使病人口部紧闭。
- 3、深吸气后，用口向病人鼻孔吹气。
- 4、呼气时，使病人口部张开，以利于气体排出。
- 5、观察及其他注意点同口对口人工呼吸。



### 心脏复苏的步骤

- 1、首先判断昏倒的人有无意识。
- 2、如无反应，立即呼救。
- 3、迅速将病人放置于仰卧位，并放在地上或硬地上。
- 4、开放气道（仰头举颌或举颌）。
- 5、判断病人有无呼吸。
- 6、如无呼吸，立即口对口吹气两口。
- 7、立即在正确定位下做胸外按压。
- 8、每30次按压，需2次人工呼吸，如此反复直至医务人员赶到。

### 口对口人工呼吸

- 1、在保持呼吸道畅通和病人口部张开的位置下进行，并捏闭病人的鼻孔。
- 2、吹气两口，吹气要快，持续1-2s。
- 3、抢救者吸气，贴紧病人的嘴，用力向病人口内吹气，直至病人胸上抬。
- 4、一次吹气完毕后，应立即与病人口部脱离，稍稍抬起头部，眼视病人胸部，同时放松捏鼻的手指。
- 5、每次吹入气量约为500-1000ml。



### 胸外按压术

- 1、按压胸骨中、下1/3交接处。
- 2、患者应仰卧于硬床板或地下。
- 3、抢救者双臂应绷直，双肩在患者胸骨上方正中，垂直向下用力按压，以髌关节为支点向下按。
- 4、按压频率 100次/分。
- 5、按压深度 成人病员至少5cm。



# 安全电压与电流行业规定

## □ 行业规定的安全电压、电流---皮肤干燥时

□ IEC: 50V

□ 中国:

■ AC50V 42V 36V 24V 12V

■ DC72V 42V 36V 24V 12V 6V

□ 德国: AC25V DC60V

□ 高度危险の場合, 安全电流取10mA

■ 人体对电流的反映:

8~10mA 手摆脱电极已感到困难,有剧痛感(手指关节).

20~25mA 手迅速麻痹,不能自动摆脱电极,呼吸困难.

50~80mA 呼吸困难,心房开始震颤.

90~100mA 呼吸麻痹,三秒钟后心脏开始麻痹,停止跳动



# 各种电气设备的防护等级(IEC 60529)

## IPxx (Ingress Protection)

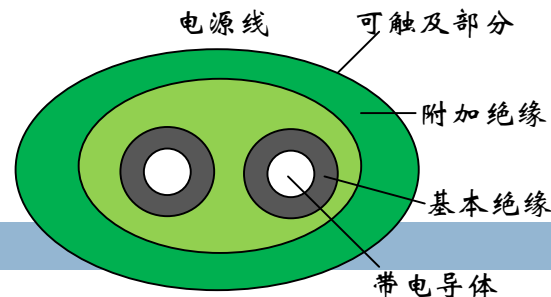
- 1代表接触保护和防止固体异物进入的等级，用第一个x指示，最高级别是6
  - 0无防护
  - 1防护50mm直径和更大的固体外来物体，球体直径为50mm，不应完全进入
  - 2防护12.5mm直径和更大的固体外来物体，球体直径为12.5mm，不应完全进入
  - 3防护2.5mm直径和更大的固体外来物体，球体直径为2.5mm，不应完全进入
  - 4防护1.0mm直径和更大的固体外来物体，球体直径为1.0mm，不应完全进入
  - 5防护灰尘不可能完全阻止灰尘进入，但灰尘进入的数量不会对设备造成伤害
  - 6灰尘封闭柜体内在20毫帕的低压时不应进入灰尘

# 各种电气设备的防护等级(IEC 60529)

## Ipxx(Ingress Protection)

- P代表防止进水的等级，用第二个X指示，最高级别是8
- 0无防护
- 1水滴防护垂直落下的水滴不应引起损害
- 2柜体倾斜15度时，防护水滴柜体向任何一侧倾斜15度角时，垂直落下的水滴不应引起损害
- 3防护溅出的水以60度角从垂直线两侧溅出的水不应引起损害
- 4防护喷水从每个方向对准柜体的喷水都不应引起损害
- 5防护射水从每个方向对准柜体的射水都不应引起损害
- 6防护强射水从每个方向对准柜体的强射水都不应引起损害
- 7防护短时浸水柜体在标准压力下短时浸入水中时，不应有能引起损害的水量浸入
- 8防护长期浸水可以在特定的条件下浸入水中，不应有能引起损害的水量浸入

# 用电安全技术与措施-1



## □ 带电体直接接触防护

- 绝缘：利用绝缘材料对带电体进行封闭和隔离。
- 屏护：采用遮栏、护罩等把危险的带电体同外界隔离开来的安全防护措施。
- 根据实际情况设置安全电压
- 安全距离(间距)：带电体与地面、带电体与树木、带电体与其他设施以及带电体与带电体之间应保持一定的安全距离。重点看一下400V情况，同时关注工作安全距离。

## □ 雷电的直接防护

- 雷暴的放电对象具有选择性，选择距离最近，最易导电的路径向大地泄放
- 树底下雷击伤害      雷雨天室内外注意事项



# 用电安全技术与措施-2

## □ 接地及接地的作用

- 与大地紧密接触并形成电气接触的一个或一组导电体称为接地极
- 接地 (earthing) 指电力系统和电气装置的中性点、电气设备的外露导电部分和装置外导电部分经接地线连接到接地极。
- 电力系统中接地的点一般是中性点。电气装置的接地部分为外露导电部分，它是电气装置中能被触及的导电部分，它正常时不带电，故障情况下可能带电。
- 作用主要是防止人身遭受电击、设备和线路遭受损坏、预防火灾和防止雷击、防止静电损害和保障电力系统正常运行
- 接地通过金属导线与接地装置连接来实现，常用的有保护接地、工作接地、防雷接地、屏蔽接地、防静电接地等。



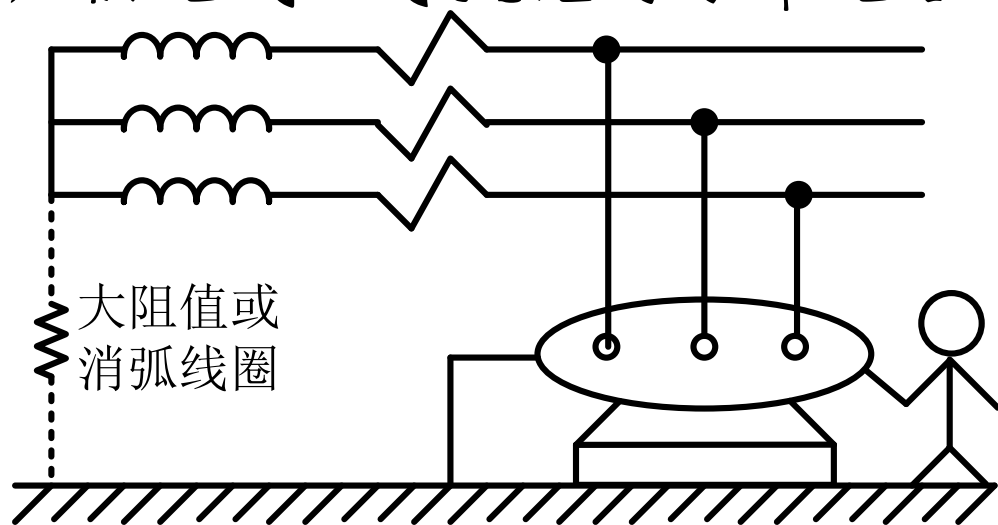
# 用电安全技术与措施-3

## □ 配电系统的间接防护

- ▣ 对于配电力系统中的接地有工作接地和保护接地之分。
- ▣ 据在系统侧与设备侧的地接方式不同，配电系统的间接接触防护包含IT系统保护、TT系统保护以及TN系统保护三种。
  - 第一个字母表示系统电源端与地的关系。T表示电源端有一点直接接地。I表示电源端所有带电部分不接地或经消弧线圈（或大电阻）接地。
  - 第二个字母表示系统中的电气设备（或装置）外露可导电部分与地的关系。T表示电气设备（或装置）外露可导电部分与大地有直接的电气连接；N表示电气设备（或装置）外露可导电部分与配电系统的中性点有直接的电气连接。
  - 第二个字母后的字母表示系统的中性线和保护线的组合关系。S表示整个系统的中性线和保护线是分开的；C表示整个系统的中性线和保护线是共用的；C-S表示系统中有一部分中性线与保护线是公用的。

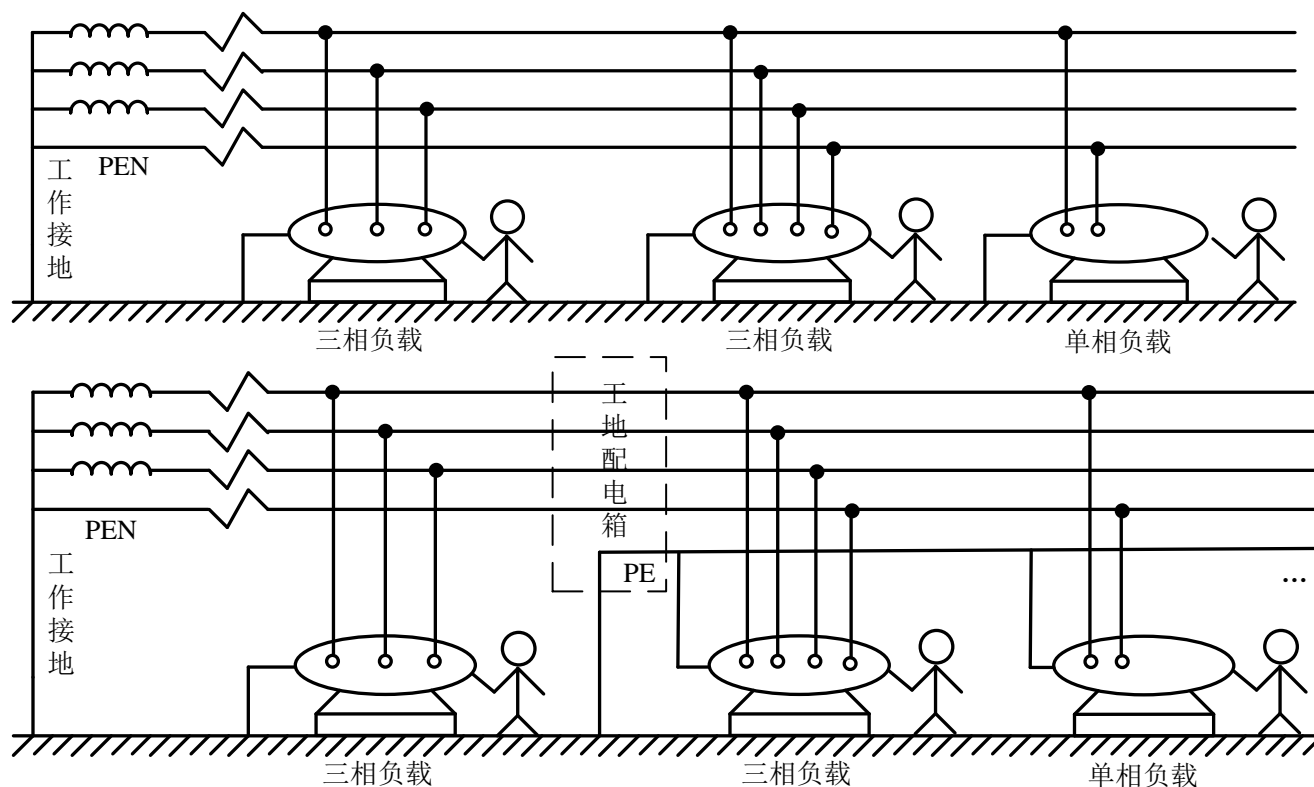
# IT系统(中性点不接地系统)-保护接地

- IT系统电源侧没有工作接地，或经过高阻抗接地，负载侧电气设备进行接地保护
- IT系统要求接地电阻在100kVA及以上时小于4欧姆，在100kVA以下时小于10欧姆。
- IT系统在供电距离不是很长时，供电的可靠性高，安全性好。在供电距离很长时，供电线路对大地的分布电容就不能忽视
- 这种供电方式在工地上很少见



# TT系统-保护接地

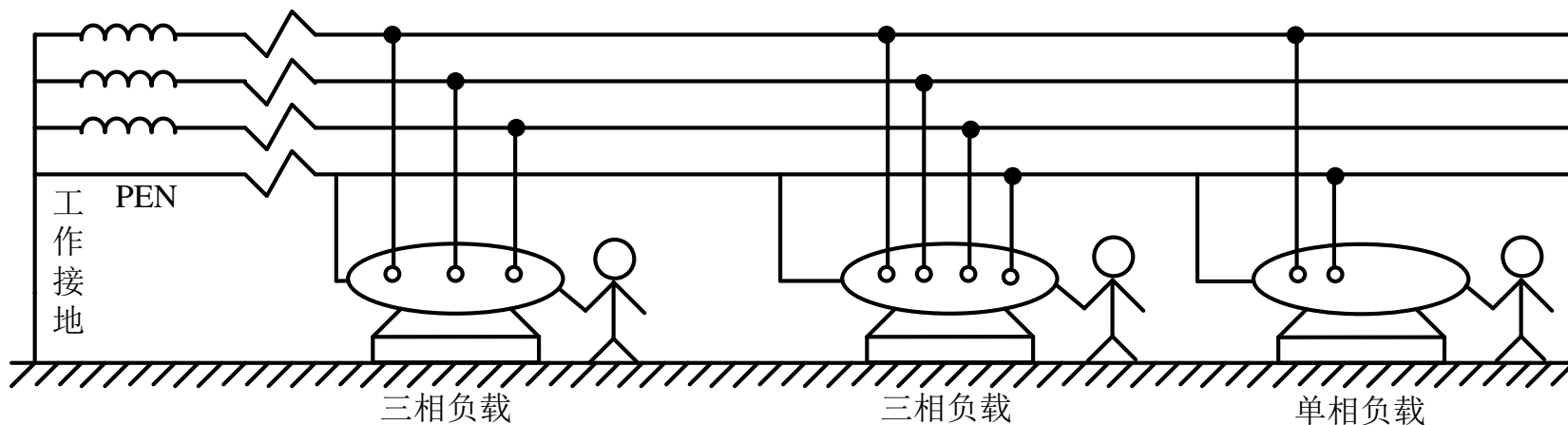
- 在电源中性点直接接地的三相四线系统中，所有设备的外露可导电部分均经各自的保护线PE分别直接接地（而与系统如何接地无关），称之为TT供电系统



# TN系统-保护接零

## TN-C

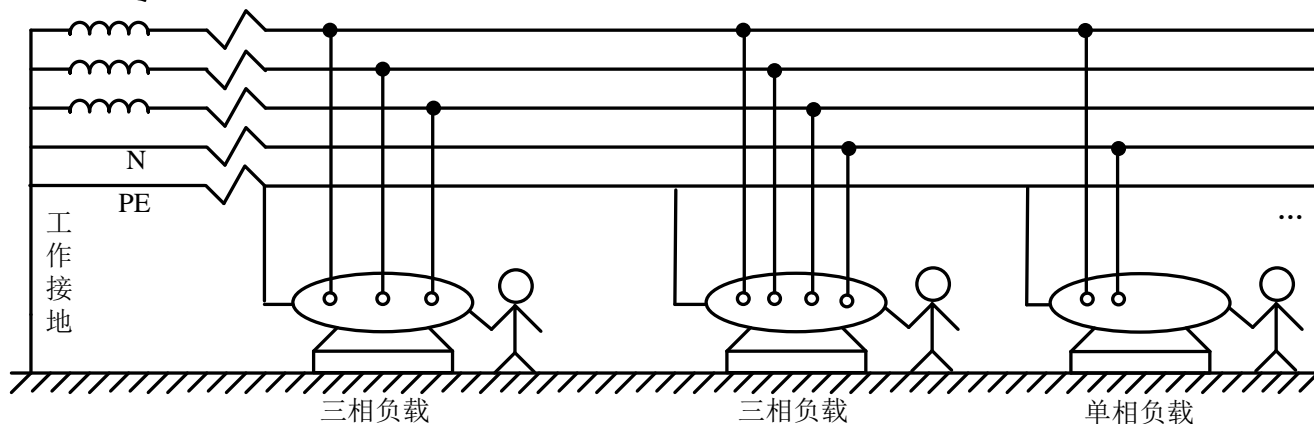
- TN-C：该系统中保护线PE与中性线N合并为PEN，所有负载设备的外露可导电部分均与PEN线相连
- TN-C系统一般只使用于三相负载基本平衡情况
- PEN线上微弱的电流在危险的环境中可能引起爆炸



# TN系统-保护接零

## TN-S

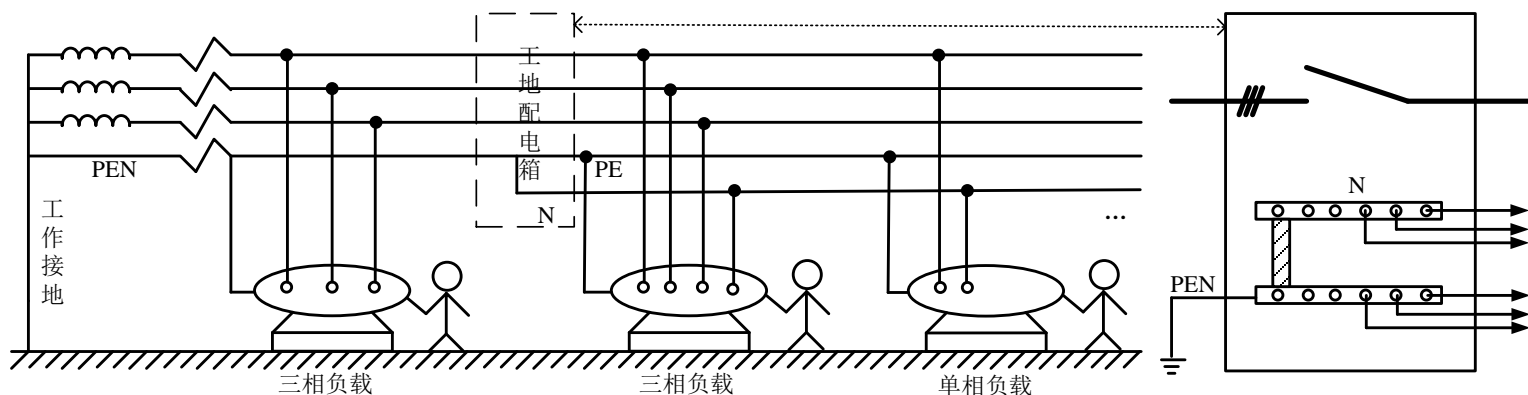
- TN-S(三相五线制): TN-S系统中保护线 and 中性线严格分开。
- 正常时PE线不通过负荷电流, 故与PE线相连的电气设备金属外壳在正常运行时不带电, 所以适用数据处理和精密电子仪器设备的供电, 也可用于爆炸危险环境中。
- 采用TN-S供电既方便又安全, 用于工业与民用建筑等低压供电系统。



# TN系统-保护接零

## TN-C-S

- TN-C-S：有一部分PEN线不分开，但一部分自工地配电箱处分开为保护线PE和中性线N，自分开后，PE线不能再与N线再合并，可用黄绿相间和浅蓝色区分。
- 需要注意的是电源进线的PEN线必须先与PE母线联接，并作接地，再将PE母线与N母线连接起来。
- TN-C-S系统是一个广泛采用的配电系统，无论在工矿企业还是在民用建筑（独立变压器的生活小区）中，其线路结构简单，又能保证一定安全水平。

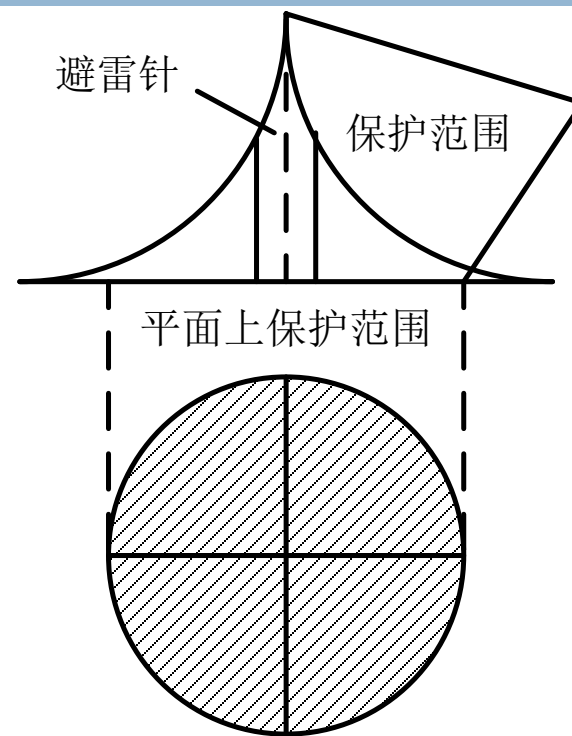


# 用电安全技术与措施-雷击间接防护

## □ 雷电与避雷技术:

- 防止直接雷击: 使雷击时的电流迅速流散到大地中去, 一般采用避雷针或者架空防雷线作为避雷装置。
- 防止感应雷击: 将所有导体(电源相线除外)接成接触良好的闭合回路并可靠接地。
- 防止架空线路雷电侵入波: 在架空线和电缆连接处加装避雷器, 其接地线与电缆屏蔽线连接并接地, 再和感应雷击的保护系统的接地线相连接。

□ 根据建筑物防雷等级的要求不同, 所要求的防雷接地电阻等级也不同



防止直接雷击

# 静电防护

- 静电存留于物体表面，是正负电荷在局部范围内失去平衡的结果，是通过电子或离子的转换而形成的。
- 静电可以有利，同时也有危害
- 静电防护原理----消除
  - ▣ 对可能产生静电的地方要防止静电积聚。采取措施在安全范围内。
  - ▣ 对已经存在的静电积聚迅速消除掉，即时释放。
- 静电防护方法
  - ▣ 使用防静电材料
  - ▣ 泄漏与接地
  - ▣ 非导体带静电的消除





# 安全用电注意事项-1

## □ 把好用电缆、电器、设备质量关

- ▣ 导线、闸刀、保护器、插头、插座、家电应的质量合格证，不买“三无”假冒产品(指无生产日期、无质量合格证以及无生产厂家，来路不明的产品)
- ▣ 设备通电前查铭牌、查电源、查设备本身是否绝缘良好

## □ 注意安装插座或拉线要符合安全规定

- ▣ 电源插座要高于地面1.6m。
- ▣ 用户供电线必须跨越建筑物时，离建筑物最小高度不得小于2.5m。
- ▣ 安装临时线路时安装高度室内不得低于2.5米，室外不得低于3.5米。
- ▣ 电视机室外天线要远离电力线，不要高出避雷针。

# 安全用电注意事项-2

## □ 注意用电行为习惯

- 要养成好习惯，人走断电，停电断开关。
- 触摸壳体用手背。
- 不用湿手接触可能带电设备外壳，不站在潮湿地面上触动带电物体或用潮湿抹布擦拭带电家电。
- 维护检查电器要断电，断电要有明显断开点。
- 插拔电源线，用手拿插头，不要抓电线。
- 不要胡拉乱接，临时用电后立即拆除。；
- 不超负荷供电，用电要小于电表与电源线的额定电流。
- 不在架空电线和配电变压器附近放风筝。
- 灯泡、电熨斗和电加热设备不能靠近衣物、易燃物，以防因长时间使用或无人看管发生意外。
- 不要让孩子玩弄电气设备。

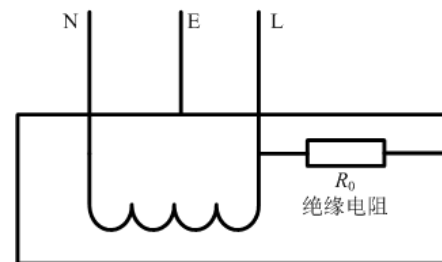
# 安全用电注意事项-3

## □ 禁使用替代品

- 不能用铜、铝线替保险丝
- 不能用信号线替电源线
- 不能用医用白胶布或透时胶带替绝缘胶带(布)
- 不能用漆包线零星电热丝
- 不能大容量保险丝替代原本较小容量的保险丝

## □ 注意采用相关安全措施

- 如隔离回路带有多台用电设备，则多台设备的金属外壳应采取等电位连接。
- 安装保护器，达到过压、漏电跳闸。
- 用电设备外壳要可靠接零(地)。
- 注意潮湿空间内用电布线与安装需要采用等电位连接



# 安全用电注意事项-4

## □ 出现日常事故的处理

- 电压异常升高，或异常响声、气味、温度、冒烟、火光，先切断电源。
- 他人触电时，根据及时原则切断电源或采用绝缘棒或杆将电线拨开，并视情况决定是否实施现场心肺复苏术，同时拨打120。
- 带电灭火时可以使用干粉、二氧化碳和1211 ( $\text{CF}_2\text{ClBr}$ ) 灭火器，但不得使用泡沫灭火器。



# 我们继续吧！

